

Chewing JOCKEY

-咀嚼音提示を利用した食感拡張装置の検討-

小泉 直也^{*1,2} 田中 秀和^{*1} 上間 裕二^{*1} 稲見 昌彦^{*1}

Chewing JOCKEY

- Designing user interface to augment food texture with sound AR system -

Naoya Koizumi^{*1,2} Hidekazu Tanaka^{*1} Yuji Uema^{*1} and Masahiko Inami^{*1}

Abstract --- Our contribution is to propose the method to augment food texture using sound AR system with crossmodal effect, to evaluate prototype implementation, and to confirm the validity of our system. There is cognitive scientific knowledge regarding the relation between food texture and sound. However, they are effective only in laboratory situations and are not suitable in everyday lives. Our research question is how the user interface design improves our daily eating experience and we focus on the food texture. Our hypothesis is that it is possible to augment the food texture by introducing sound in synchronization with the motion of the user's mastication. For this purpose, we have designed a device and software for detecting the mastication action and controlling the sound augmented reality system. Additionally, we have evaluated sound delay, frequency control, and effects of our system. And finally, we have demonstrated this system at a public conference to show the possibility of usage in a living environment.

Keywords: Chewing Sound, Crossmodality, Food texture

1 はじめに

咀嚼は人間が食品から栄養を摂取するために必要な行為であり、その運動を経て食品の味や食感を嗜むことが可能になる。咀嚼は栄養素の摂取という生命維持に重要な役割を果たしていると同時に、化学的刺激によって味覚を満たす点と、食品の物理的変形に伴う食感の知覚による心地良さによって、人を魅了する。

本研究では、食品を咀嚼する際の魅力の一つである食感に関する研究を実施する。食感(Food texture)に関して国際標準化機構(International Organization for Standardization)の定義では、「力学的、触覚的および適切であれば視覚的、聴覚的な方法で感知できる食物のレオロジー的、構造的(幾何学的小および表面的)属性の総体」となっている[1]

食感は食品の価値を左右する大きな要素である。Szczeniakらは参加者100名に対して74種類の食品を示し、連想する言葉を挙げてもらう調査を行った[2]。調査の結果、品質特性に関するものの中ではテクスチャーに関するものが32.1%という最も多くの割合を占めており、食品においてテクスチャーが重要な位置を占

めていることが分かった。また大橋らは、日本では食感に対する表現が多様化しており、食事の中でも特に注目される要素として認識されていると述べている[3]。また海外においても、ドイツの菓子メーカーのバールゼンは、菓子の咀嚼時の食感に対して、咀嚼音の心地良さも含めた設計をしている[4]。

このように食感は食品の魅力の重要な点の一つであり、人間の食事における快を担っている重要な要素の一つといえる。そこで本研究では、聴覚情報を重ねを利用した拡張現実感手法によって、食品の食感を変化させることのできるシステムの開発を目的として研究を行った。

2 関連研究

2.1 咀嚼の計測

本研究では咀嚼を対象として扱うため、咀嚼運動の計測が必要になる。食品の軟化に伴い、食事時の咀嚼回数が減少しており、これに起因する肥満や自然歯の損失などが問題視されている[1]。これに対して、咀嚼回数を計測し、健康的な咀嚼運動をサポートすることを目的として、咀嚼運動の計測手法が開発されている。例えば Miyawaki らは一台のカメラによる咀嚼解析

*1 慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

*2 日本学術振興会 特別研究員

*1 Keio University, Graduate school of Media Design

*2 JSPS Research fellow

手法を提案している[5]. 彼らは FDPD (Facial Deformation Pattern Descriptor) という顔の変形を捉える手法を利用し、ビデオ映像から咀嚼を判定することに成功した. 彼らの手法はカメラをテーブル上に設置しているためにユーザの食事状態を妨げないというメリットを有する一方で、リアルタイム性を有していない. またカメラを使用する問題点として、食事者の正面に設置しなければならないという問題もある.

これに対して装着型の咀嚼検出装置は顔の動きに対応することが出来る. Taniguchi らの KOMEKAMI Switch は、咀嚼直後にこめかみ部が膨らむのを、フォトフレクタを利用して検出し、咀嚼回数等を測定することが出来るシステムである[6]. このシステムは軽量であり、また少ない計算量で咀嚼を検出できる. また松田らの咀嚼動作検出装置もこめかみの動きから咀嚼の回数を検出する装置である[7]. これらのこめかみの動作からの咀嚼検出は、咀嚼の回数検出という課題に関して効果的である. ただし、こめかみの変形は、咀嚼時に食品が歯によって潰されて歯同士が接触した際に発生するため、咀嚼検出のタイミングが咀嚼によって食品が破壊された後になり、時間遅れが生じてしまう.

こめかみ以外の身体の物理的変位を計測して咀嚼を検出する手法としては、顎の動きの検出をする手法がある. 例えば日陶科学株式会社の咀嚼回数検出装置は顎下に設置したスイッチによって咀嚼の回数を測定している[8]. その他の測定手法として筋肉の動きを見る手法も開発されている. 表面筋電を測定する手法[9]や、頬に装着されるプローブによって咀嚼筋の還元型ヘモグロビン濃度を検出する手法もある[10].

本研究では、食事中にユーザが頭部を動かすことを考慮し、顔を正面に固定する必要のない装着型の中で、咀嚼のタイミングを瞬時に測定出来る顎下からの計測手法を利用することとした. ただし[8]の手法では物理的に顎に押し当てて動きを計測するために不快感が生じるとの報告[11]を踏まえ、本手法では非接触計測を実施した.

2.2 食知覚における聴覚の働き

食感の操作を知覚的側面から実施した研究として Zampini らの咀嚼音の提示による食感知覚の変化に関する実験が挙げられる[12]. 実験では椅子に座った参加者の前方にマイクを設置し、参加者がポテトチップを一噛みしたときに発生する音を取得し、計算機でフィルタ処理を施した後に参加者が装着しているヘッドフォンを利用して聴覚提示を行った. 実験結果から、参加者の咀嚼音の高周波成分を増幅、または全周波数の音圧を増幅して聴覚フィードバックを行うことで、ポテトチップのクリスプネスが増強されるということが示された. この研究結果より聴覚情報の重量のみによって食感操

作が可能であることが示された. しかし Zampini らの実験で使われたシステムは心理物理学の実験を目的としたシステムである. マイクが取得した音を常時フィードバックするため、環境音や会話音声などもフィードバックされてしまうという問題が生じる. 実際の食環境において環境音などが常にフィードバックされる状態は不快である. したがってそれを避けるために、咀嚼音のみをフィードバックする仕組みが必要である.

また増田ら[13]は食べている食品の咀嚼音とは全く異なる咀嚼音を提示した時の食品認知に与える影響を実験で検討した. この実験では咬筋部に装着したマイクが取得する音圧によって咀嚼動作を検出するシステムを開発し、咀嚼のタイミングに合わせた聴覚フィードバックを実現している. しかしこのシステムも実験を目的としたシステムであり、マイクが取得した音圧が閾値を越えるとすべて咀嚼として検出されてしまう. そのため、実験以外での使用を考えると環境音や発話によって音圧が閾値を越えた場合にも咀嚼として誤検出してしまうと考えられる.

また食知覚における聴覚の重要性に着目し、その提示を目的としたインタフェースも設計されている. 橋本らはストローの吸引にあわせて吸引の圧力、ストローの振動及び音を提示する Straw-like User Interface を開発した[14]. あらかじめ飲料や食品を吸引した際の情報を記録しておき、ユーザがストローを吸った際に再現提示するシステムとなっている. 吸引の感覚を提示するために圧力と振動の他に音を提示した点が興味深く、口内の触覚だけで感じていると考えがちな吸引の感覚が、聴覚によっても影響を受けていることが伺える.

さらに岩田らの Food Simulator は記録された食感を再生する装置である[15]. 再生時には咬合力、味、咀嚼音という複数の感覚への情報提示を行なうことでリアリティを向上させている. 上記の研究は、吸引と咀嚼という行為の違いはあるものの、食体験の記録と再生を行なっている点が共通している. また、どちらも食体験を再生する際の主対象となる吸引の圧力や、咀嚼の咬合力だけを扱うのではなく、音や振動や味など、複数感覚へ情報提示を行なうことによって再生時のリアリティを向上させている点が興味深い. ただし、これらは記録と再生に焦点を当てて設計されているため、実際に飲食を行なう際には使用することができない. 本研究においては実際の飲食で利用することを目的とした.

本研究においては Zampini らの実験と同様の原理を利用して食感操作を行った. すなわち参加者の咀嚼音をリアルタイムに取得し、加工して聴覚へフィードバックすることにより食感を変化させるという原理である. この原理であれば、食感を知覚する主な部位がある口腔内に機器を設置する必要がなく、衛生面や安全性のリスクを避けることができる. そこで本研究では、実験室外

での食環境において頻繁に発生することが考えられる環境音や発話などの影響を受けにくい手法を検討し、咀嚼のみをリアルタイムに検出し、その際の咀嚼音を提示するシステムを設計することとした。

2.3 ディスプレイシステムによる食知覚制御

Richard Wrangham は、人類の進化は火の賜物である料理の進化によると主張している[16]。食は生物が活動を続ける源であり、その為の技術開発が人類の歴史の中で延々と実施されてきた。もちろんコンピューティングパワーの活用もさまざまなアプローチから検討されている。本研究はそのなかでもディスプレイシステムを利用して食事者の知覚をコントロールしようとするアプローチとして位置づけられる。同様のアプローチとして、鳴海はビデオスルーHMD を利用し提示する食品のサイズを変化させることで満腹感を制御する手法[17]、食品に対して視覚及び嗅覚情報の重畳を行うことで風味をコントロールする手法[18]などを提案している。また中村らは、電気味覚を活用することでコミュニケーションとしての食体験の可能性を広げること成功している[19]。中森らはフォークに電極を取り付け咀嚼タイミングの検出を行い、食品を食べる際にサウンドエフェクトを加えることで食体験をエンタテインメント化することに取り組んでいる[20]。森らは、プロジェクタによる視覚重畳によって、食品を彩るシステムを提案している[25]。

本研究もこのようなディスプレイシステムによる食知覚の操作のためのシステムに関する研究であり、食感をターゲットにして研究を実施した。今後このような研究が進んでいくなかで、知覚操作による食知覚の向上が、一つの料理手法の進化形として実現されていくと考えられる。

3 システム

3.1 設計方針

食感拡張手法の設計にあたり、以下の3点を設計の基本指針とした。

- A. 食感知覚操作が可能であること
- B. 特殊な環境でなくても容易に使用可能であり、また食べ方に制限がないこと
- C. 発話コミュニケーションを行えること

A は本研究の目的とすることであり、設計の最も基本的なコンセプトにあたる。また前述の関連研究に見られるように、従来の食感操作に関する研究は実験室などの特殊環境下であった。本研究では将来的な応用を考え、一般的な家庭等でも実現可能なシステムを目指し B を設定した。さらに一般的な家庭等で利用しようと

した場合、食事時の発話コミュニケーションを阻害しない点が必須であると考え C を設定した。

3.2 ハードウェア概要

開発したシステムの全体像を図1に示す。これは骨伝導ヘッドフォンにセンサ付きのアームを取り付けたものである。センサによって咀嚼のタイミングを計測し、会話等の音声をフィードバックしないようにした。また聴覚提示は骨伝導ヘッドフォンを利用することで、装着者の耳を塞がないようにし、食事における会話を妨げないようにした。

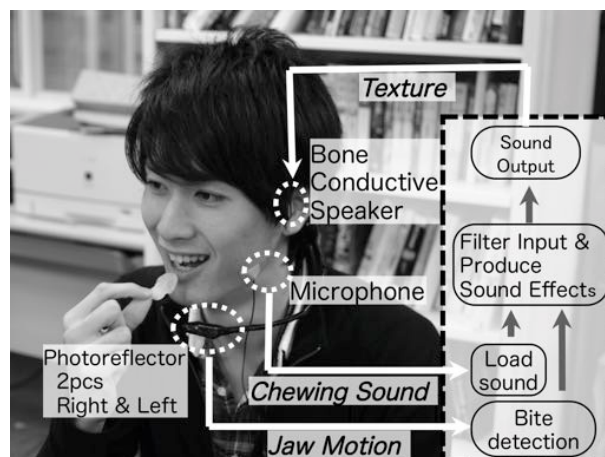


図 1 システム全体像

センサと下顎の距離を計測する反射型光センサには浜松ホトニクス製 RPR-220 を使用し、Arduino により A/D 変換を行なった。センサは顎下左右に二個取り付けた。これはセンサが一つだと、首を傾げたり首を振ったりなどの、顔の左右の動きに対して誤作動を生じる為である。咀嚼音取得のためには単一指向性モノラルマイクロホンセット(ME52W, OLYMPUS)を使用し、骨伝導ヘッドフォンにはテムコジャパン製パソコン用骨伝導ヘッドセット(HG40SIM-TU 28721)を使用した。なお、マイクはユーザーの下顎部にはり付けた。

3.3 ソフトウェア概要

反射型光センサの出力値と下顎の動きの関係の調査結果を基に、咀嚼アルゴリズムの検討を行った。先行研究の田中[21]の報告から、咀嚼時は発話時に比べて下顎動作が約3倍も大きいことが知られている。従って十分に咀嚼と発話を分別することが可能である。本ソフトウェアではセンサ値が急激に下降した際に、その行動を咀嚼として検出し、下降した値について閾値を設けることで発話との判別を行った。具体的には以下のように行った。

- 1) 16msec ごとにセンサの出力値を取得する
- 2) 左右センサ別に前回の出力値と差分を計算する
- 3) 左右センサ別に3回連続で差分が設定閾値を超

えた場合は咀嚼の可能性有り判定し、左右センサともに咀嚼の可能性有り判定された場合は咀嚼として検出する

4) 咀嚼判定後、480msecの間は咀嚼を判定しない。

本手法の性能評価は文献[21]にて記載されている通りであり、被験者が10回の咀嚼を行った結果、咀嚼検出回数の平均は10.8回標準偏差は2.4回となっている。なお、一度の咀嚼に対して複数回の咀嚼検出が行われてしまうことを防ぐため咀嚼判定後に480msecは咀嚼の判定を行わないようにした。これは文献[1]より咀嚼リズムが約1Hzであることを踏まえ、その半分程度に設定した。これらにより設計指針Cを達成した。

また音声のフィードバックは、咀嚼判定をおこなったタイミングから1sec以内とした。これは、咀嚼音の長さに対して十分長いと考えられるためである。例えばポテトチップであればその咀嚼音発生時間の長さは約400msecであり、咀嚼音をすべて再生するのに十分長い時間と言える。また常に音声をフィードバックすると会話音声なども自分にフィードバックしてしまい、不快感が生じる。そこで咀嚼のタイミングである1Hzに合わせて提示時間を1sec間とした。

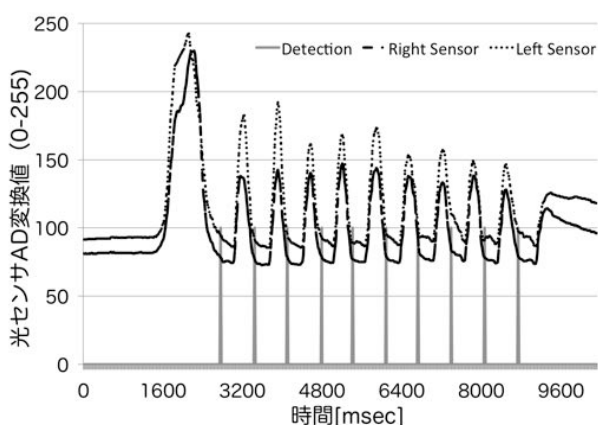


図 2 センサデータと咀嚼検出

4 同時性に関する実験

4.1 実験目的:許容時間遅れの測定

設計指針Aである「食感知覚操作が可能であること」を実現するためには、クロスモーダル効果を利用する必要があり、そのためには提示音を自身の咀嚼音と同時に知覚するタイミング、すなわち噛み込みと同時に知覚されるタイミングで情報提示を行なう必要がある。そこで咀嚼検出から聴覚提示までの許容時間遅れを実験より求めた。

4.2 実験内容及び手順

実験の参加者はシステムを使用している状態でグミを食べる。システムでは効果音付加アプリケーションを

起動し、グミの咀嚼に対して「ぽよ」という効果音を付加した。この音とグミの組み合わせは、予備実験において、参加者に受け入れられやすかった組み合わせとして報告されていたために採用した。また、ポテトチップスを利用して、フィードバック音を提示する手法も同様の実験手法で実施した。

実験者は咀嚼検出と情報提示の間の遅延時間を調整し、どの程度まで参加者が遅延として感じないのかを極限法により調べた。参加者は男性3名、女性2名で、年齢は24歳から29歳であった。実験の手順を以下に述べる。

- 1) 参加者はデバイスを装着し、センサの位置調整と咀嚼検出閾値調整、提示される音量の調整を行なう。音量は自分の咀嚼音よりも提示音の方が少し大きく聞こえる程度に調整してもらった。
- 2) まず下降系列での閾値を調べるため、参加者に「初めは音が遅れた状態で提示され、一口毎に徐々に遅れをなくしていくので、遅れを感じなくなった段階で教えてほしい。また、初めの段階で遅れを感じなければ教えてほしい。」ということ伝える。
- 3) 咀嚼検出から情報提示までの遅延を300msecに設定し、参加者に食品を食べてもらい、提示タイミングの遅れを感じるか否かを回答してもらう。
- 4) 参加者が遅れを感じると回答した場合は、遅延を20msec少なくし、手順3)を行なう。これを参加者が遅れを感じないと回答するまで繰り返す。
- 5) 上昇系列での閾値を調べるため、参加者に「初めは音の遅れがない状態で提示され、一口毎に徐々に遅れを増やしていくので、遅れを感じた段階で教えてほしい。また、初めの段階で遅れを感じたら教えてほしい。」ということ伝える。なお、「もし提示のタイミングが早いと感じた場合には、タイミングが早いと回答してほしい。」ということも伝える。
- 6) 咀嚼検出から情報提示までの遅延を0msecに設定し、参加者に食品を食べてもらい、提示タイミングの遅れを感じるか否かを回答してもらう。
- 7) 参加者が遅れを感じないと回答した場合は、遅延を20msec多くし、手順6)を行なう。これを参加者が遅れを感じると回答するまで繰り返す。

4.3 実験結果

実験の結果、効果音提示手法によって遅延を感じる閾値の平均は134msec、標準偏差は74msecとなった。また、ポテトチップスを用いた音フィードバックによる実験において遅延を感じる閾値の平均は162msec、標準偏差29msecとなった。この結果より、効果音提示手法においては遅延時間を設定しないこととした。また聴覚フィードバック時に発生する遅れを100msec程度に抑

えるようにシステムの設計・実装を行った。

4.4 遅延時間に関する考察

実験結果を比較すると、システムにより効果音を付加して実験を行なった方が遅延を感じる閾値の平均が小さく、参加者は遅延に対して敏感になっていることが分かる。これはポテトチップスの咀嚼音が大きいため、音声重畳のフィードバックによる音と実際の咀嚼音の差異を発見しにくく、フィードバック音の発生点を把握することが出来ないために、実際のポテトチップスの破断音とシステムによる提示音が逐次的と認識されたためと考えられる。また効果音提示では普段聞き慣れない種類の音が提示されたため違和感が生じ、ばらつきが発生したのではないかと考えられる。

5 フィルタ音提示に関する実験

5.1 実験目的

設計指針の「食感知覚操作が可能であること」を達成できたかどうかを評価する。複数の食品に対して本システムの食感知覚操作アプリケーションを使用し、どの食品のどの食感知覚を操作することができるのかを調べることを目的とした実験を行なった。

5.2 予備実験

実験設計は Zampini らの実験[12]をもとに行なった。まず実験に用いる食品及びフィルタの設計を行うための予備実験を実施した。利用する食品として食感に特徴のある食品でかつ、工業的に大量生産されるなどの工程を経て均質な品質を有するものから選ぶこととした。具体的な食品の選択には文献[3]をもとに食感として「サクサク、サクリ、ポリポリ、カリカリ、モチモチ」に対応する代表的な食品として挙げられていた「ポテトチップス、クラッカー、煎餅、かりんとう、大福」を選択した。またその他の食品として、文献[3]には無かったアーモンドを選択した。これは、実際に本システムを装着して様々な食品を食している中で、豆類にも特徴的な食感があると実験者自身が考えたため採用した。

評価方法も先行研究[12]にならい、100段階の Visual Analog Scale(以下 VAS)を用いて行った。評価における形容詞対の決定においては、それぞれの食感に関する文献[3]の記述を元に検討を行い、予備実験において実験者が変化を感じる形容詞を設定した。

またそれぞれに対するフィルタの設計に関しては、実験者 2 名が周波数を変化させながら対象の食品の咀嚼を行い、それぞれの食品の特徴とされている食感を強調及び抑制していると感じられる周波数を求めた。音声の加工処理には Pure Data を利用した。咀嚼音の加工条件の種類は各食品に対して 3 種類とし、ハイパスフィルタを通した音、ローパスフィルタを通した音、無

加工フィードバックの音である。加工条件として上記3条件を選択した理由は、先行研究[12]よりハイパスフィルタの効果を期待できる点と、ローパスフィルタによって高周波域を低減することで、その効果を打ち消すことが期待できたためである。図 3 に使用した食品群、表 1 に食品毎の加工条件、及び評価の対象とする形容詞対を示す。

表 1 実験条件と形容詞対

	フィルタ周波数[kHz]		形容詞対
	High-pass	Low-pass	
ポテトチップ	4.1	1.1	新鮮 - 湿気ている
クラッカー	1.4	7.7	薄い - 分厚い
せんべい	9.0	4.9	新鮮 - 湿気ている
アーモンド	1.9	8.1	密度が高い - 密度が低い
かりんとう	1.7	1.2	密度が高い - 密度が低い
大福	7.2	7.1	粘着性がない - 粘着性がある

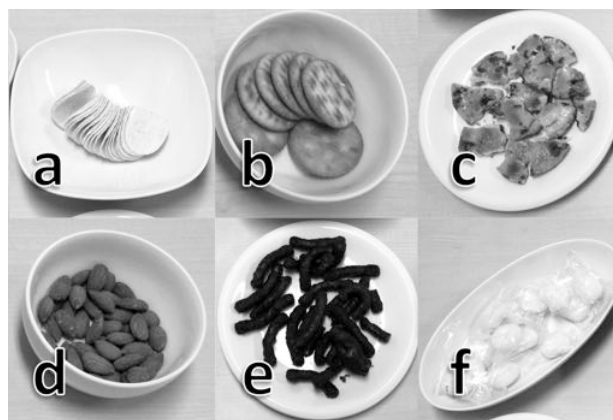


図 3 使用した食品 (a:ポテトチップ, b クラッカー, c:せんべい, d: アーモンド, e: かりんとう, f:大福)

5.3 実験内容及び手順

予備実験の結果を踏まえ、本実験を実施した。参加者は本システムの食感知覚操作アプリケーションを使用した状態でそれぞれの食品を食べ、その食感についての評価を行った。なお、本実験では元の食品に比べて食感が変化したか否かを調べることに注目するため、VAS の目盛りは 0 を基準として-50 から 50 までの 100 段階とした。システムを使用していない状態で食品を食べた時の食感の評価を 0 とした。

ポテトチップと他の食品は参加者、試行回数、実験手順が異なるが手順対象は同一である。ポテトチップについて参加者は男性 7 名、女性 3 名で、年齢は 23 歳から 31 歳であった。1 人に対して各条件を 2 回ずつランダムに行うことで合計 20 回の試行を行なった。クラッカー、煎餅、アーモンド、かりんとう、大福について参加者は男性 10 名、女性 10 名で、年齢は 23 歳から 26

歳であった。各食品につき合計 10 回の試行を行なった。参加者はこれらの 5 食品のうちの 3 種類に関して評価を行った。本研究では実際の食事での利用を目指していたため、食べ方に制限を加えなかった。実験においては「機材をつけた状態で普段と同じように食べてください」という指示を行い、咀嚼の回数、一口の大きさ、咀嚼のスピードなど統制は行っていない。

具体的な実験手順は以下の通りである。

- 1) 参加者はデバイスを装着する。実験者はセンサの位置を定め、咀嚼検出閾値の調整を行なう。
- 2) 練習のためにシステムを使用した状態でテスト用食品を食べる。テスト用食品は評価する対象外の食品でランダムに選択した。またその際に音量の調整を行う。音量は自身の咀嚼音に比べて不快でない程度に参加者自身に調整させた。
- 3) VASをみせ、評価軸となる形容詞対を説明する。
- 4) システムを使用しない状態で食品を食べ、これを基準(VASでの評価が0)の食感として覚えてもらう。
- 5) システムを使用し、ランダムに選択された最初の咀嚼音加工条件下で食品1を食べる。食べ終わったら食感をVASで評価してもらう。
- 6) 参加者は内観報告を行なう。
- 7) 次の加工条件について手順4-6を行なう。
- 8) 最後の加工条件について手順4-6を行なう。
- 9) 食品を変更し手順3-8を行ない、同様に繰り返す。

5.4 実験結果

各食品の基準の食感と、システムを使用した時の食感評価点に対して分散分析を実施した。実験の結果の平均値及び標準偏差に関するグラフを図 4,5(ポテトチップ及びクラッカー)に示す。またそれぞれの実験結果として VAS の平均値を表2に示す(括弧内は標準偏差)。ポテトチップス及びクラッカーにおける分散分析を実施した結果、有意水準 5%で有意差を確認することが出来た(ポテトチップ $F(2,50)=4.00$, クラッカー $F(2,23) = 3.53$)。それぞれの実験において各グループのデータ数が等しいため、事後検定として Tukey の HSD 法を利用して多重比較を実施した。その結果により平均値に有意な差が生じたのは以下の2項目であり、これ以外の食品と加工条件の組み合わせについては有意差が見られなかった。

- ・ ポテトチップスに対してハイパスフィルタ処理音提示を行うと、ローパスフィルタ処理音提示の際より新鮮さを感じさせることが出来る。
- ・ クラッカーに対して無加工フィードバック提示を行なうと、ローパスフィルタ処理音提示の際より分厚く感じさせることが出来る。

表2 実験結果

	High Pass	Low Pass	Non Filtered
ポテトチップ	-12.59 (15.97)	0.06 (10.55)	-6.59 (10.64)
クラッカー	7.75 (6.72)	-0.63 (8.45)	11.25 (10.23)
せんべい	-2.60 (6.77)	-6.90 (12.39)	-3.50 (9.50)
アーモンド	3.50 (11.73)	1.70 (19.00)	3.20 (15.98)
かりんとう	0.10 (-19.00)	5.20 (18.20)	-6.30 (14.59)
大福	7.10 (10.62)	-1.00 (18.95)	-3.00 (12.69)

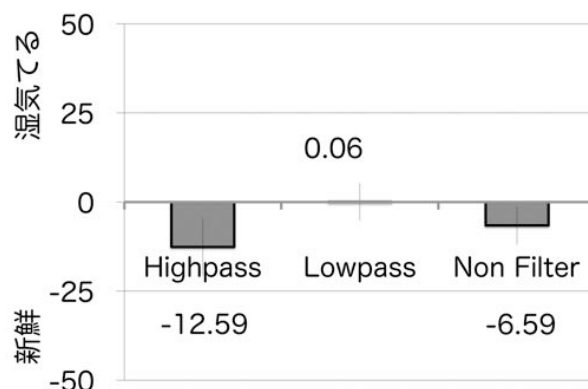


図 4 ポテトチップス

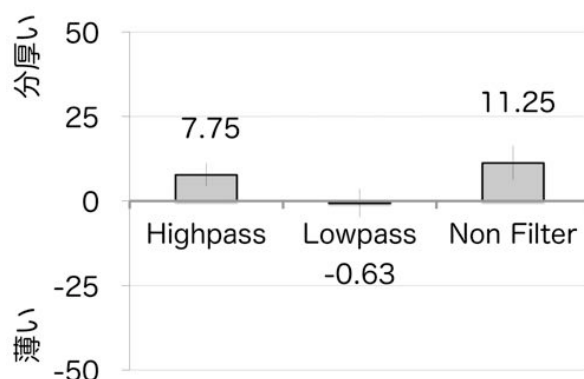


図 5 クラッカー

6 考察

6.1 咀嚼音加工処理に関する考察

食品の咀嚼音の加工に関して、その効果が確認できたのは、クラッカー及びポテトチップスだった。これらの食品は、空気伝導音を大きく発生させる食品であり、マイクでの集音が効果的に作用したと考えられる。参加者の内観報告からは、「クラッカーを2枚重ねて食べているように感じる。」といった報告が得られた。一方であまり効果を得られなかった食品は、アーモンド・かりんとう・大福などの空気伝導音の少ない食品であった。より咀嚼音伝導音を明瞭に捉えることで、これらに対して改善できると考えている。またせんべいに関しては咀嚼時に発生する音が大きかったために重畳したフィードバック処理の効果が小さかったと考えられる。

また有意差は発生しなかったが、大福には興味深い結果が生じた。大福の咀嚼音をハイパスフィルタで加工することで、参加者の70%が「粘着性がある」と回答している。大福に対してハイパスフィルタ加工を行なった際の内観報告によれば、複数の参加者から「お餅を食べている最中の、音が残るような感じがする。ガムを噛んだように、噛んだ後も歯にくっついてくる感じがする。」「風船ガムのようなクチャツとした、柔らかいガムを食べている感じがする。」といった報告が得られた。

この理由として2点考えられる。1点目は、口腔内で自分の唾液と食品とが混じり合った音を取得するため、そのクチャクチャという音により粘着性が強調されるためだと考えられる。2点目は、本システムは顎を閉じて食品を潰した際の破壊音をフィードバックするが、同様に顎を開いて次の咀嚼に備える際に生じる音もフィードバックする。これはシステムが咀嚼を検出してから1秒間は音のフィードバック状態が継続するためである。顎を開く際には食品が歯からはがれる音が生じるので、粘着性を感じさせる音は顎を閉じるタイミングよりも開くタイミングの方が多く発生すると考えられ、その音をシステムがフィードバックするために参加者は粘着性を強く感じたのだと考えられる。内観報告での「音が残る感じ」とはこの顎が開く際の音を指していると考えられる。

これはZampiniらの実験と異なり、骨伝導音を利用したフィードバックを実施している為に生じた効果と考えられる。今後マイクをより骨伝導に特化したものに変更し、バイノーラル骨伝導録音等を実施することで、より効果的な粘着性等の食感の操作も実現しうると考えられる。

また標準偏差が大きく有意差があまり生じなかった理由として、実験手順の2)に問題があると考えられる。被験者はランダムに選択された食品の咀嚼を行いながら音量の調節を行った為に、発生する咀嚼音が大きい食品の際にはフィードバック音量を小さく、その反対に咀嚼音の小さい食品を利用して調整した際には音量を大きく設定してしまい、その差が誤差を生じさせていると考えられる。したがって今後は音量の設計をどのように行うかが一つの課題として挙げられる。

6.2 一般家庭でのユーザスタディにおける観察

ユーザスタディとして、一般家庭等で試験的に利用して頂き、その観察を実施した。対象として、奥歯に義歯を有する女性(80歳/義歯使用歴13年)に利用していただいた。初回は、参加者が野菜を好むという点を考慮し、キュウリやニンジン等を幅1cm程度のスティック状に加工された食品を購入し実験用食品として持っていった。これに対して体験者からさらに小さくして欲しいとの依頼を受けた。これは、体験者にとっては、市場で売られている野菜スティックは大き過ぎて咀嚼しにく

いものになっているためであった。従って実験時にはその野菜スティックをさらに小さく加工して食していた。その際の咀嚼音は当然小さいものとなり、聴覚による食感の良さを感じにくくしてしまっていたということが観察によって発見された。

この観察結果から、本研究のアプローチのメリットが垣間見える。食感の心地良さの設計は、物性からのアプローチによるものが多いが、咀嚼力の低下した高齢者等が咀嚼出来ないため、良い食感で作ってもそれをそのまま食せないことが考えられる。これに対して、本研究のような聴覚情報の重量による手法であれば、食品の物性によらない提示方法が可能になると考えられる。

また食感操作に関する評価を受けるために、ポテトチップ、クラッカーの食感操作を体験して貰った。この時、参加者自身に好きな食品として餅と軽いせんべいを持って来ていただいた。音声の加工はフィルタ音実験の条件を利用した。餅に関しては大福の条件で行った。

参加者は最も煎餅が気に入ったようで、煎餅の感想を多く述べていた。「この煎餅は普通の煎餅より柔らかい物だけど、音がすごくバリバリと聞こえる感じだった。」「(普段は)柔らかい煎餅はクシヤクシャと食べているけど、(システムを使った場合は)音を聞くとバリバリとして、すごく硬いものを噛んでいるような音がした。」とコメントをしていた。また餅に対してはフォークで細かく切り刻んでから食していた。これは、そのままの大きさで食べると義歯が外れてしまう可能性があるためとの事であった。また餅に対する変化は特に感じなかったと述べていた。これは餅を細かくしたために咀嚼音が小さくなったのが一因とも考えられる。さらにポテトチップ及びクラッカーについては、どちらについても「音が爽やかな感じだった。」とコメントをしていた。また全体を通しての感想として「年寄りもグチャグチャと食べるよりもこういうシステムで爽やかにおいしく物を食べられたら良いと思う。」とコメントしており、本システムに肯定的な意見を得た。

一方でデバイスの設計に関しては問題が観察された。まずデバイスの装着が容易では無かった。耳にかけるタイプのヘッドフォンを身につける行為を一人で行なうことができず、サポートが必要であった。これは慣れによって解消することも可能と思われるが、特に高齢者に向けての開発においては装着の容易性が重要と思われる。またセンサ位置の調整やソフトウェアの操作は実験者が行ったが、このような設定や操作を自身で行うことはできない

だろうとの意見も出た。実利用に向けては、ユーザビリティの向上が必須であると考えられる。

6.3 本研究のコントリビューション

本研究のコントリビューションは、聴覚情報重畳による食感提示手法を提案し、その試験的実装及び評価を行った点である。

また実験室環境外で利用可能な設計を提案し、その設計に基づいた試験的実装を利用した展示を行い、統制された実験室環境でない場所で利用出来ることを示した。

さらに先行研究として知られているポテトチップ以外にもクラッカーなどの他の食品においても聴覚による食感の操作が可能であることも示した。このクラッカーの聴覚フィードバック手法はポテトチップと同様の手法であり、先行研究から類推できる。しかし、ポテトチップ以外の食品でも食感操作が可能であることを示した事により、他の食品でも食感操作が可能であることを示した点において一定の意義があると考えている。またクラッカーの食感の形容詞対として「分厚い-薄い」が変更可能という事は、咀嚼量(摂食量)等の食感以外の作用を期待することができるようになったと考えられる。

6.4 アプリケーションと展示

本研究では二種類のアプリケーションを製作し、その展示を行ってユーザのフィードバックを得た。一つは食感知覚操作アプリケーションである。これは本論文の中心になる聴覚情報重畳による食感提示システムである。もう一つは効果音付加アプリケーションである。これは効果音の付加による非現実的な食体験の実現を目指したアプリケーションである。例えばグミの咀嚼に合わせて「ぼによ」という弾力のあるものが潰れた際のゲームの効果音を出力し、焼き菓子のように硬い食品に対しては「バキッ」という硬いものを砕いているような音を重畳することで、非現実的な食体験を楽しめるアプリケーションである。虫の形状をしたグミと、叫ぶ声の組み合わせなどの実際には体験したくないような例も設計した。

これらのアプリケーションをエンタテインメントコンピューティング 2011[22]や SIGGRAPH ASIA2011[23]等の学会展示の会場にて実演展示を行い、実験室空間でない場においてもシステムが利用可能であることを示した。デモンストレーションによって発見された課題としては、マイクの取り付けの手間が挙げられる。特に展示会場のように多くの来場者が列をなすような場合、取り付けに時間がかかるため、マイクを手で押し付けながら食するようになどの対応をした。また SIGGRAPH ASIA ではデモンストレーションを 3 人が同時に体験できるようにしたところ、一緒に会話をしながら本システムを体験する様子が見られた。このことから、食事環境下にお

いて、発話と咀嚼の判別が可能であることが確認された。

6.5 手法の限界と課題点

本研究手法の課題がいくつか挙げられる。一つはマイクとヘッドフォン間でのハウリング発生の可能性が挙げられる。前述したデモンストレーション時には、食感操作という本来の目的とは異なり、展示会場の来場者にユーザの体験を周囲に伝える目的で、骨伝導ヘッドフォンのみではなくスピーカーからも音声出力を行うことがあった。この際にスピーカーからの音声を下顎部に取り付けたマイクが拾い、ハウリングを引き起こすことがあった。この問題は骨伝導ヘッドフォンのみの利用でスピーカーによる音声出力を実施しない場合には、発生しなかった。したがって本来の使用環境においてはハウリングの問題は発生しないと考えられる。ただし補聴器を利用しているようなユーザなどの使用に関しては検討をする必要がある。

また実用に向けた課題として、効果音及びフィルタの設計手法の確立が必要になる。実験の結果、食品ごとに異なるフィルタを提示することが必要なことがわかった。しかし、どのようなフィルタを設計するべきかに関して十分な知見がない。一つのアイディアとしては、Oliver らによる食品の咀嚼音解析による咀嚼食品判定手法に用いられているような食品の特徴音抽出アルゴリズム[24]を併用することで、人間の咀嚼時における咀嚼音の特徴部を強調し提示することなどが考えられる。

さらに、実環境で利用する際の問題として、機器を装着しながら食事をするという、一般習慣ではない行為が必要であるという問題が考えられる。ただし、様々な実演展示の中で参加者が積極的に装置をつけて食することを体験したことから、まずはそのようなエンタテインメントとして受け入れやすい形で実演し、またフィードバック手法を洗練化(提示音響フィルタの設計等の改善等)を行い、装置の外観等の改良を進めることで、メガネのように一般的に普及させることも可能であると考えられる。

7 まとめと今後の展望

本研究では食感知覚を操作の対象とし、触覚-聴覚間のクロスモーダル効果を利用した食感知覚操作システムを開発した。システムは食事者の顎下に設置した反射型光センサによって下顎の動きを計測することで咀嚼を検出し、咀嚼のタイミングに合わせて聴覚情報提示を行う。提示する聴覚情報は、下顎体部に設置したマイクによって取得された咀嚼音を加工したものである。システムの基礎機能評価、及び Visual Analog Scale を用いた食感知覚操作評価を行なった。その結

果, 本システムをポテトチップスに対して使用することで食品をより新鮮に, ビスケットに対して使用することで食品をより分厚く知覚させることに成功した。

今後は, 上記考察にある問題等の解決を目指すとともに, 咀嚼音量の制御による咀嚼回数の制御などの, 咀嚼行動の制御を可能にしたいと考えている。また食感操作に関しても, 音の周波数やボリュームの単純な加工ではなく, ADSR の調整やエコーの利用などの検討を進めていきたいと考えている。

謝辞

本研究は JSPS 科研費及び慶應義塾大学博士課程学生研究支援プログラム助成を受けた。

参考文献

- [1] 西成 勝好, 大越 ひろ, 神山 かおる, 山本 隆. 食感創造ハンドブック. サイエンスフォーラム, 2005.
- [2] Alina Surmacka Szczesniak, Kleyn D.H.. Consumer awareness of texture and other food attributes. Food Technology, Vol.17, No.74, pp. 74-77, 1963.
- [3] 大橋 正房, 武藤 彩加, 山本 眞人, 爲国 正子, 汲田 亜紀子, 渋澤 文明, 小川 裕子. 「おいしい」感覚と言葉食感の世代. BMFT 出版, 2010.
- [4] 小町 英恵. ドイツ菓子メーカー パールゼン “音”こそがアイデンティティ. AXIS, Vol.60, pp36-39, 2012.
- [5] Kenzaburo Miyawaki, Satoshi Nishiguchi, Mutsuo Sano. Extraction of Mastication in Diet Based on Facial Deformation Pattern Descriptor. 2010 IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 272 - 277, 2010.
- [6] Kazuhiro Taniguchi, Atsushi Nishikawa, Seiichiro Kawanishi, Fumio Miyazaki. KOMEKAMI Switch: A Novel Wearable Input Device Using Movement of Temple. Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.20, No.2, pp.260-272. 2008.
- [7] 国立大学法人九州工業大学, 松田 健次, 咀嚼動作検出装置, 特開 2012-120832, 2012.6.28.
- [8] 日陶科学株式会社, 山田 茂雅, 高田 直人, 安富 和子, 咀嚼回数検出装置, 実用新案登録第 3128677 号, 2007.1.18.
- [9] 株式会社林原生物化学研究所, 梶並 淑子, 松尾 宏明, 扇本 直人, 咀嚼回数計数装置, 特開 2002-253520, 2002.9.10.
- [10] 浜松ホトニクス株式会社, 竹内 恒彦, 黒野 剛弘, 咀嚼モニタ装置, 特開 2004-57585, 2004.2.26.
- [11] 宇野 修司, 有泉 亮, 金田 重郎, 芳賀 博英, 骨伝導マイクロフォンを用いた咀嚼回数指導方式の提案, 人工知能学会全国大会論文集 (CD-ROM), Vol.24, ROMBUNNO.1G2-1, 2010.
- [12] Massimiliano Zampini, Charles Spence. The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips. Journal of Sensory Studies, Vol.19, No.5, pp.347-363, 2004.
- [13] 増田 真実, 山口 泰優, 荒井 観, 岡嶋 克典. 聴覚情報が食品認識に与える影響. 電子情報通信学会技術研

究報告, ヒューマン情報処理, Vol.108, No.356, pp.123-126, 2008.

[14] 橋本 悠希, 大瀧 順一郎, 小島 稔, 永谷 直久, 三谷 知靖, 宮島 悟, 山本 暁夫, 稲見 昌彦. Straw-like User Interface : 吸飲感覚提示装置, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.2, pp.347-356, 2006.

[15] 上村 尚弘, 森谷 哲朗, 矢野 博明, 岩田 洋夫. 食感呈示装置の開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.8, No.4, pp.399-406, 2003.

[16] リチャード・ランガム, 依田 卓巳. 火の賜物—ヒトは料理で進化した. エヌティティ出版, 2010.

[17] Takuji Narumi, Yuki Ban, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose. Augmented Perception of Satiety: Controlling Food Consumption by Changing Apparent Size of Food with Augmented Reality. Proceeding CHI '12 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.109-118, 2012.

[18] 鳴海 拓志, 谷川 智洋, 梶波 崇, 廣瀬 通孝. メタクッキー: 感覚間相互作用を用いた味覚ディスプレイの検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.4, pp.579-588, 2010.

[19] 中村 裕美, 宮下 芳明. 電気味覚を活用した飲食コミュニケーションの可能性, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-HCI-142, No.11, 2011.

[20] 中森 玲奈, 塚田 浩二, 椎尾 一郎. 食ベテルミン. 情報処理学会 インタラクシオン 2011 論文集, pp.367-370, 2011.

[21] 田中 秀和, 小泉 直也, 上間 裕二, 南澤 孝太, 稲見 昌彦. 咀嚼検出デバイスを用いた食感拡張システムの提案. 第 16 回バーチャルリアリティ学会論文集, pp694-697, 2011.

[22] エンタテインメント コンピューティング 2011 <http://ec2011.entcomp.org/>

[23] Hidekazu Tanaka, Naoya Koizumi, Yuji Uema, Masahiko Inami. Chewing Jockey : Augmented Food Texture by using sound based on the cross-modal effect. Proceeding SIGGRAPH Asia 2011 Emerging Technologies Article, No.18, 2011.

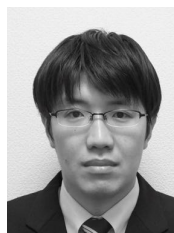
[24] Oliver Amft, Gerhard Tröster. On-Body Sensing Solutions for Automatic Dietary Monitoring. Journal IEEE Pervasive Computing, Vol. 8, Issue 2, 2009.

[25] Maki Mori, Kazutaka Kurihara, Koji Tsukada, Itiro Siiro. Dining Presenter: Augmented Reality system for a dining tabletop. Proceedings of the 11th Ubicomp 2009, pp.168-169, 2009.

(2012 年 12 月 18 日 受付)

[著者紹介]

小泉 直也 (学生会員)



2012 年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科後期博士課程修了. 博士(メディアデザイン学). 現在, 日本学術振興会特別研究員 PD. 主に知覚作用インタフェースの研究に従事.

田中 秀和 (非会員)



2012年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修了。主に聴覚触覚間クロスモーダル効果及び咀嚼動作検出を用いた食感知覚操作システムの研究に従事した。現在、

NHNJapan 株式会社にてゲームプランナー職に従事。

上間 裕二 (学生会員)



2012年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科後期博士課程単位取得退学。主に車載用視覚提示手法の開発に従事。現在、慶應義塾大学KMD研究所研究員として透明化技術の研究に従事。

稲見 昌彦 (正会員)



1999年東京大学大学院工学研究科博士課程修了。博士(工学)。東京大学助手, JST さきがけ研究者, MIT コンピュータ科学・人工知能研究所客員科学者, 電気通信大学教授を経て, 現在慶應義塾大学大学院メ

ディアデザイン研究科教授。IEEE Virtual Reality Best Paper Award, 文化庁メディア芸術祭優秀賞, 情報処理学会論文賞等各賞受賞。